

**TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN KOPOLI (EUGENOL-DIALIL FTALAT) SEBAGAI SENYAWA *CARRIER* DENGAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM)**

(Skripsi)

Oleh

**DELLANIA FRIDA YULITA**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

## ABSTRAK

### TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN KOPOLI (EUGENOL-DIALIL FTALAT) SEBAGAI SENYAWA *CARRIER* DENGAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM)

Oleh

**Dellania Frida Yulita**

Fenol merupakan satu di antara limbah cair industri yang masuk ke dalam daftar prioritas senyawa toksik pencemar daerah perairan. Kehadiran fenol di dalam lingkungan perairan dapat menyebabkan masalah yang serius. Untuk meminimalkan limbah fenol tersebut dilakukan penelitian mengenai transpor fenol menggunakan kopoli (eugenol-DAF) sebagai senyawa *carrier* berbasis membran *Polytetrafluoroetilene* (PTFE) dengan metode *Supported Liquid Membrane* (SLM). Beberapa parameter yang mempengaruhi proses transpor fenol telah dilakukan di antaranya pH fase sumber, konsentrasi fase penerima, waktu perendaman membran, konsentrasi senyawa *carrier* (pembawa) dan waktu transpor. Selain itu, kinetika reaksi yang terjadi pada proses transpor fenol juga dipelajari. Karakterisasi membran dilakukan dengan menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi permukaan membran dan FTIR untuk mengetahui interaksi antara fenol dengan kopoli (eugenol-DAF). Konsentrasi fenol setelah transpor ditentukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis menggunakan reagen 4-aminoantipirin pada panjang gelombang  $\lambda = 456$  nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fenol tertranspor secara optimal pada pH fase sumber 5,5, konsentrasi larutan NaOH pada fase penerima 0,1 M (pH = 13), dengan waktu perendaman membran selama 30 menit dan konsentrasi senyawa pembawa yang digunakan sebesar 0,01 M selama 13 jam dengan %fenol yang tertranspor sebanyak 93,33%. Transpor fenol mengikuti kinetika reaksi orde 1 dengan nilai koefisien transfer massa ( $k$ ) sebesar  $1,02 \times 10^{-6}$  m/s.

**Kata kunci :** Fenol, *Supported Liquid Membrane* (SLM), Kopoli (Eugenol-DAF).

## ABSTRACT

### PHENOL TRANSPORT USING COPOLY (EUGENOL-DIALIL FTALAT) AS CARRIER COMPOUND WITH SUPPORTED LIQUID MEMBRANE (SLM) METHODE

By

**Dellania Frida Yulita**

Phenol is one of the industrial liquid waste which is included in priority list of toxic compounds polluting watersheds. Phenol existence in environment could cause serious problem. To minimize the phenol waste, the research about phenol transport using copoly(eugenol-DAF) as carrier compound based Polytetrafluoroethylene (PTFE) membrane with Supported Liquid Membrane (SLM) methode has been done. Some parameter which affect phenol transport process has been done, among them are source phase pH, receiving phase concentration, membrane immersion time, carrier compound concentration and transport time. Beside, reaction kinetics that occur on phenol transport process also studied. Membrane characterization is carried out using SEM to know the membrane surface morphology and FTIR to know the interaction between phenol and copoly (eugenol-DAF). Phenol concentration after transport determined with UV-Vis spectrophotometry methode using reagen 4-aminoantipirin at wavelength of  $\lambda = 456$  nm. Result shows that phenol is transported optimally at source phase pH 5,5, NaOH liquid concentration at receiving phase 0,1 M (pH = 13), with membrane immersion time for 30 minutes and carrier compound concentration that used is 0,01 M for 13 hours with %phenol that is transported are 93,33%. Phenol transport follows reaction kinetics orde-1 with mass transfer coefficient value  $1,02 \times 10^{-6}$  m/s.

**Keyword** : Phenol, Supported Liquid Membrane (SLM), Copoly (Eugenol-DAF).

**TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN KOPOLI (EUGENOL-DIALIL FTALAT) SEBAGAI SENYAWA *CARRIER* DENGAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM)**

**Oleh**

**DELLANIA FRIDA YULITA**

**Skripsi**

Sebagai salah satu syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA SAINS**

Pada

**JURUSAN KIMIA**  
**Fakultas Matematika dan Ilmu Pegetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS LAMPUNG**  
**BANDAR LAMPUNG**  
**2018**

Judul Skripsi : **TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN  
KOPOLI (EUGENOL-DIALIL FTALAT)  
SEBAGAI SENYAWA *CARRIER* DENGAN  
METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE*  
(SLM)**

Nama Mahasiswa : **Dellania Frida Yulita**

No. Pokok Mahasiswa : 1417011020

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**  
NIP 19700705 200501 1 003

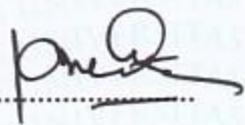
**Drs. R. Supriyanto, M.S.**  
NIP 19581111 199003 1 001

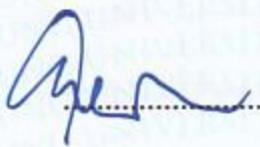
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

**Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, M.T.**  
NIP 19740705 200003 1 001

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

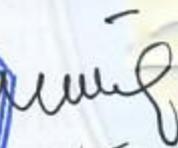
Ketua : **Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.** 

Sekretaris : **Drs. R. Supriyanto, M.S.** 

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.** 

### 2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



  
**Prof. Warsito, S.St., D.E.A., Ph.D.**  
NIP. 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **29 Oktober 2018**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Dellania Frida Yulita, lahir di Rajabasa Lama pada tanggal 10 Juli 1998, sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis merupakan anak dari pasangan suami istri Bapak Suryadi dan Ibu Susmiati. Penulis saat ini bertempat tinggal di Desa Rajabasa Lama 2, Kecamatan Labuhan Ratu, Kabupaten Lampung Timur.

Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari Taman Kanak-Kanak PGRI 4 Rajabasa lama 2 lulus pada tahun 2003, SD Negeri Rajabasa Lama 2 lulus pada tahun 2009, SMP Negeri 1 Labuhan Ratu lulus pada Tahun 2012, SMA Negeri 1 Way Jepara lulus pada tahun 2014, dan mulai tahun 2014 hingga penulisan skripsi ini, penulis melanjutkan ke pendidikan tinggi di Jurusan S1 Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN 2014.

Selama menempuh pendidikan di jurusan kimia, penulis pernah menjadi Asisten praktikum Kimia Analitik 2 jurusan Kimia pada tahun 2018. Selain itu, penulis juga aktif berorganisasi baik di dalam maupun di luar kampus. Organisasi yang pernah penulis ikuti yaitu, anggota Ikatan Mahasiswa Lampung Timur tahun 2014, anggota Ikatan alumni SMAN 1 Way Jepara (IKASWARA) tahun 2014-

2015, Kader Muda Himaki Periode 2014-2015, anggota Bidang Sosial dan Masyarakat (SOSMAS) Himaki FMIPA Unila periode 2015-2016 dan 2016-2017.

Pada Januari 2017, penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Sinkona Indonesia Lestari (SIL) yang terletak di Subang, Jawa Barat. Selain itu, pada bulan Agustus 2018 penulis juga telah menyelesaikan kegiatan KKN Revolusi Mental selama 39 hari di desa Berunding, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan.



*Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan karunia-Nya, sehingga terciptalah sebuah karya ini yang kupersembahkan sebagai wujud dan tanggung jawab kepada :*

*Kedua orang tuaku,  
Bapak Suryadi dan ibu Susmiati yang telah mendidik dan membesarkanku atas segala Do'a, kesabaran, keikhlasan, limpahan kasih sayang, nasehat dan motivasi yang selalu menguatkan dan mendukung dalam setiap langkahku menuju kesuksesan dan kebahagiaan*

*Adikku  
Iqbal Fathur Rozzi yang selalu memberikan keceriaan, dukungan dan doa untuk kakak*

*Keluarga besar yang selalu mendoakan kesuksesan dan keberhasilanku*

*Pembimbing Penelitianku, Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. dan Bapak Drs. R. Supriyanto, M.S.*

*Orang terkasih, Sahabat, Kerabat, dan Teman*

*Almamater Tercinta*

# Motto

*“Everything happens for a reason, nobody knows the future,  
pray a lot, enjoy the journey and trust the process”  
(Dellania Frida Yulita)*

*“Allah does not charge a soul except [with that within] its  
capacity” (Q.S Al-Baqarah: 286)*

*“What is the difference between an obstacle and an  
opportunity? Our attitude toward it. Every opportunity has a  
difficulty, and every difficulty has an opportunity”  
(J. Sidlow Baxter)*

*“Strength does not come from winning. Your struggles develop  
your strengths. When you go through hardships and decide not  
to surrender. That is strength”  
(Mahatma Gandhi)*

## SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, karunia dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. *Sholawat* serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya yang selalu taat mengamalkan ajaran dan sunnahnya.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Prodi Kimia FMIPA Unila. Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan adik penulis yang selalu memberi cinta kasih, motivasi, dukungan, dan do'a untuk penulis.
2. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku Pembimbing Utama penelitian atas segala bimbingan, motivasi, bantuan, nasihat, saran dan seluruh kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Drs. R. Supriyanto, M.S. selaku Pembimbing Kedua penelitian atas bimbingan, motivasi, bantuan, nasihat, saran, dan seluruh kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

4. Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Pembahas atas segala kritik, saran, motivasi, dan inspirasi yang sangat membangun dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu Dra. Aspita Laila, M.S. selaku Pembimbing Akademik atas bimbingan, arahan dan motivasinya selama diperkuliahan ini.
6. Bapak Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S. selaku Kepala Laboratorium Kimia Analitik atas izinnya untuk menyelesaikan penelitian.
7. Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono., M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak Prof. Dr. Warsito D.E.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Segenap staf pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia dan FMIPA Universitas Lampung pada umumnya.
10. Saudara-saudaraku; Om Sugeng, Tante Rini, Regina, Talita, Eyang Uti Wati, Eyang Kakung Warjito, Eyang Uti Lastri, dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Terimakasih atas doa, tenaga, semangat, dan motivasi, yang telah diberikan kepada penulis
11. My ups and downs partner ; Ramadhani Saputra, S.Si., thank you for everything that you have done to me. Thank you so much for being you, for always loving me and accepting me in every way, encourage me to do better, motivate me to do everything i feel i can't do and make me happy when i'm feeling down. I'm grateful to have you.
12. My partner in finishing this script; Windi Antika, Teguh Wijaya Hakim, Dessy Tiara Elvia, and M. Ilham Haqqiqi who always help me and give me strength to accomplish all of this.

13. My “**KANCE**”, Riri Auliya, Yunita Damayanti, Luthfi Hijrianto, Windi Antika, Teguh Wijaya Hakim, Dessy Tiara Elvia, and M. Ilham Haqqiqi, who has stayed beside me from the start, thank you for everything that you given to me. Thanks for all the good times and for all memories. See you on top!
14. My “**BENZENE**”, Elisabeth Yulinda, Erika Liandhini, Audina Uci Pertiwi, Rizka Ari Wandari, and Ayisa Ramadhona. Thank you for your kindness, strength, motivation, and everything you given to me. Thank you for helping me through the hardest times and always being there. May Allah always bless all of you, aamiin.
15. My other close friends ; Rica Aulia, Gesa Gustami Pangesti, Lulu Nurrachmi. I’m truly blessed for being surrounded by such amazing and kindness people like all of you. Thank you for everything that you have done and given to me. I’m lucky to have you!
16. My another friends; Tika Dwi Febriyanti, thank you for your kindness. Thank you for taking the time to help me. May Allah bless you tik, aamiin.
17. My another friends; Nur Wulandari, Yesi Oktiara, and Fatri Sinjia. Although i do not always spend my time with you guys, you always there for me when i need hands to take care something that i can’t do by myself. Thanks, may Allah bless all of you, aamiin.
18. My unbiological sisters; Maria Carolina Septiany, Latifah Yunita Putri, Permata Putri Lestarie. I realize, i am nothing without you, thank for your support, motivation and for everything you given to me eventhough we’re miles apart, but you always still in my heart. I LOVE YOU!!

19. My Chemistry 2014 Family, i'm sorry i can't mention all of our names since there were 109 people of us. Thank you for always being there for me and giving me hands when i need it. I'm sorry if i never be such a good friend to you, but i always pray the best for us. See you on top Chemistry 2014!
20. Himaki FMIPA Unila who had given me a lot of amazing lessons and experiences. Thank you for making me like who i am today.
21. Berundung squad; Risayanda, Tanti, Peram, Arum and Rajes. Thank you for accepting me to be part of "Keluarga Cemara", thank you for amazing 39 days and thank you for being part of my journey.
22. My seniors and my juniors in Chemistry Major; 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, and 2017 generations.
23. And all of people who always help me and give me support to accomplish my script.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlipat ganda, Aamiin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan-rekan khususnya mahasiswa kimia dan pembaca pada umumnya.

Bandar lampung, Desember 2018  
Penulis

**Dellania Frida Yulita**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	5
C. Manfaat Penelitian .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Fenol dan Penanganan Limbah Fenol.....	7
B. Teknologi Membran .....	10
C. Membran Cair Berpendukung ( <i>Supported Liquid Membrane, SLM</i> ) .....	13
D. Polimerisasi Eugenol .....	17
E. Kopolimer (Eugenol-DAF) .....	20
F. Karakterisasi .....	23
1. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> .....	23
2. <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i> .....	25
3. Spektrofotometer UV-Vis .....	27
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
B. Alat dan Bahan .....	30
1. Alat-alat .....	30
2. Bahan-bahan .....	31
C. Prosedur Penelitian .....	31
1. Preparasi membran cair berpendukung (SLM) .....	31
2. Penentuan panjang gelombang maksimum fenol .....	32
3. Transpor fenol .....	32
a. Transpor fenol dengan variasi pH fase sumber .....	32
b. Transpor fenol dengan variasi konsentrasi fasa penerima (NaOH) pada pH optimum sumber .....	33

c.	Transpor fenol dengan variasi waktu pencelupan pada pH optimum sumber dan konsentrasi optimum fasa penerima .....	33
d.	Transpor fenol dengan variasi konsentrasi senyawa pembawa pada kondisi optimum .....	34
e.	Transpor fenol pada variasi waktu transpor pada kondisi optimum.....	34
f.	Pengukuran konsentrasi fenol dalam sampel .....	35
4.	Analisis data .....	36
a.	Penentuan persentase <i>recovery</i> fenol .....	36
b.	Validasi metode .....	36
c.	Penentuan kinetika transpor fenol .....	37
d.	Penentuan permeabilitas dan permselektifitas .....	37
e.	Karakterisasi Membran .....	38
D.	Diagram Alir Penelitian .....	38

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A.	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol .....	39
B.	Validasi Metode .....	41
1.	Linearitas kurva kalibrasi standar fenol .....	41
2.	Penentuan nilai LoD dan LoQ .....	42
C.	Transpor Fenol.....	44
1.	Mekanisme transpor fenol .....	44
2.	Transpor fenol dengan variasi pH fase sumber .....	45
3.	Transpor fenol dengan variasi konsentrasi fase penerima (konsentrasi NaOH) pada pH optimum fase sumber .....	47
4.	Transpor fenol dengan variasi waktu perendaman membran ke dalam senyawa <i>carrier</i> Co-EDAF pada kondisi optimum .....	49
5.	Transpor fenol dengan variasi konsentrasi senyawa <i>carrier</i> Co-EDAF pada kondisi optimum .....	50
6.	Transpor fenol dengan variasi waktu transpor pada kondisi optimum .....	52
D.	Kinetika Reaksi Transpor Fenol .....	54
E.	Permeabilitas dan Permselektivitas .....	56
F.	Karakterisasi Membran .....	57
1.	Karakterisasi dengan menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	57
2.	Karakterisasi dengan menggunakan <i>Forier Transform Infra Red</i> (FTIR) .....	59

#### V. KESIMPULAN DAN SARAN

A.	Kesimpulan .....	62
B.	Saran .....	62

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat fisiokimia eugenol.....	18
2. Korelasi FTIR .....	26
3. Penentuan linearitas kurva kalibrasi fenol .....	41
4. Nilai LoD dan LoQ fenol .....	43
5. Fluks (J), koefisien rejeksi (%R), dan koefisien transfer massa (k) pada waktu optimum transpor fenol .....	57
6. Gugus fungsi pada membran sebelum dan setelah digunakan untuk transpor fenol .....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin .....	9
2. Membran cair (a) BLM, (b) ELM, (c) SLM .....	12
3. Struktur poli(tetrafluoroetilena) (PTFE) .....	14
4. Senyawa eugenol .....	18
5. Reaksi polimerisasi eugenol menjadi polieugenol .....	19
6. Reaksi polimerisasi dialil ftalat (DAF) .....	21
7. Prediksi struktur turunan polieugenol hasil taut silang dengan DAF .....	22
8. Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis .....	24
9. Skema alat FTIR .....	25
10. Skema alat Spektrofotometri UV-Vis .....	29
11. Diagram alir penelitian .....	38
12. Warna merah muda yang terbentuk .....	39
13. Panjang gelombang maksimum fenol .....	40
14. Kurva kalibrasi linearitas fenol .....	42
15. Mekanisme transpor fenol .....	44
16. Grafik % transpor fenol pada variasi pH fase sumber .....	45
17. Grafik % transpor fenol pada variasi konsentrasi fase penerima .....	48
18. Grafik % transpor fenol pada variasi perendaman membran PTFE .....	50
19. Grafik % transpor fenol pada variasi konsentrasi senyawa <i>carrier</i> .....	51

20. Grafik % transpor fenol pada variasi waktu transpor .....	53
21. Kinetika transpor fenol menurut model kinetika reaksi orde 1 .....	55
22. Kinetika transpor fenol menurut model kinetika reaksi orde 2 .....	55
23. Grafik hasil perhitungan nilai fluks terhadap waktu .....	56
24. Grafik hasil perhitungan koefisien rejeksi terhadap waktu .....	56
25. Permukaan membran PTFE sebelum transpor dan sesudah transpor .....	58
26. Spektra IR dari membran PTFE dengan senyawa pembawa Co-EDAF .....	59

## I. PENDAHULUAN

### A. LatarBelakang

Perkembangan industri dengan adanya kemajuan teknologi telah memberikan sumbangan besar terhadap perekonomian Indonesia. Di lain pihak hal tersebut juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena tidak semua industri yang ada di Indonesia mengelola limbahnya dengan baik sehingga berdampak pada pencemaran lingkungan. Limbah-limbah tersebut dapat berupa limbah cair dan limbah padat yang meliputi limbah organik dan anorganik. Salah satu limbah cair yang digolongkan sebagai limbah organik adalah fenol.

Fenol dan turunannya termasuk di antara bentuk polutan kimia yang paling umum dalam air limbah. Mereka hadir dalam limbah cair berbagai industri, seperti kilang minyak (6-500 mg / L), pengolahan batubara (9-6800 mg / L), dan pembuatan petrokimia (2,8- 1220 mg / L). Sumber lain dari air aliran limbah yang mengandung fenol adalah industri farmasi, plastik, kayu, cat, pulp dan kertas (0,1- 1600 mg / L). Karena toksisitas dan efek karsinogeniknya, fenol dianggap sebagai polutan di lingkungan (Othman *et al.*, 2011).

Fenol masuk ke dalam daftar prioritas senyawa toksik pencemar daerah perairan. Kehadiran fenol di dalam lingkungan perairan dapat menyebabkan masalah yang

serius. Pada konsentrasi rendah (5-25 mg/L) senyawa fenol sangat berbahaya bagi organisme dan kesehatan manusia, senyawa ini dapat menyebabkan kerusakan hati, ginjal, penurunan tekanan darah, pelemahan detak jantung hingga kematian (Alva dan Peyton, 2003). Selain itu, beberapa senyawa turunan fenol yang terbentuk dari senyawa fenol juga berbahaya. Senyawa-senyawa tersebut diantaranya 2,4-diklorofenol dan 2,4,6-triklorofenol yang ketika masuk ke dalam lingkungan air akan menghasilkan bau dan rasa tidak enak pada air (Li *et al.*, 2009). Akan tetapi, senyawa fenolik dianggap sebagai bahan kimia berharga untuk proses industri. Hal ini dikarenakan senyawa fenolik digunakan dalam produksi beberapa produk kimia seperti perekat, pewarna, desinfektan dan katalis. Oleh karena itu, berbagai metode inovatif untuk pemisahan dan pemulihan senyawa fenolik banyak dikembangkan terutama mengenai pengolahan air limbah yang mengandung senyawa fenolik sebelum dibuang ke lingkungan (Ooi *et al.*, 2014).

Banyak metode yang digunakan untuk memisahkan limbah senyawa fenol dan turunan senyawa fenol. Hampir sebagian besar industri kimia menggunakan metode adsorpsi menggunakan resin dan metode ekstraksi cair-cair dalam memisahkan limbah fenol dan turunannya. Namun, metode-metode tersebut di rasa kurang efisien dalam memisahkan limbah fenol dan turunannya. Hal ini dikarenakan metode-metode tersebut membutuhkan biaya operasional yang tinggi, membutuhkan bahan yang banyak serta energi yang besar. Selain itu, metode-metode tersebut dapat menghasilkan produk samping yang sangat berbahaya (Molva, 2004). Oleh karena itu, pada saat ini banyak dikembangkan pemisahan fenol dengan menggunakan teknologi membran. Hal ini dikarenakan teknologi

membran memiliki keunggulan dari segi teknik, ekonomi, dan energi (Gherrou *et al.*, 2001).

Membran adalah suatu lapisan antara dua fase bersebelahan yang bertindak sebagai suatu penghalang selektif yang mampu mengatur transpor komponen kimia yang berada pada sisi yang terpisah (Ulbricht, 2006). Berdasarkan pada struktur dan prinsip pemisahannya, membran terdiri dari tiga jenis yaitu membran berpori, membran tidak berpori, dan membran cair. Teknik membran cair banyak digunakan untuk pemisahan fenol dari lingkungan perairan. Membran cair digunakan karena nilai difusivitasnya yang tinggi terhadap medium cair. Pada membran cair, terdapat molekul pembawa (*carrier*) yang dapat meningkatkan permeabilitas membran. Pemisahan fenol dengan menggunakan membran cair didasarkan atas perbedaan kelarutan fenol yang berada dalam fasa larutan dan fasa organik, hal ini sesuai dengan definisi membran cair yaitu lapisan cair tipis yang bersifat *semipermeable* yang memisahkan dua fasa cair atau dua fasa gas. Prinsip pemisahan pada membran cair tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat molekul pembawa spesifik. Molekul pembawa (*carrier*) tetap berada di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan (Mulder, 1996).

Menurut Kozlowski *et al.* (2002) membran cair diklasifikasikan menjadi tiga tipe yaitu *bulk liquid membrane* (BLM), *emulsion liquid membrane* (ELM), dan *supported liquid membrane* (SLM). Berdasarkan ketiga metode tersebut, metode *supported liquid membrane* (SLM) yang akan digunakan pada penelitian ini.

*Supported liquid membrane* (SLM) adalah salah satu metode pemisahan berbasis membran yang dikembangkan dari teknik ekstraksi pelarut, yaitu dengan

mengamobilkan zat pengestraksi (*carrier*) pada suatu membran polimer berpori (Basir, 2015). SLM telah banyak digunakan untuk transpor senyawa maupun logam. SLM memiliki beberapa keuntungan, antara lain penggunaan senyawa pembawa relatif sedikit, faktor pemisahan yang tinggi, biaya yang rendah, kemudahan dalam pembuatan berulang dan pemakaian energi yang rendah (Kocherginsky *et al.*, 2007).

SLM terdiri dari polimer pendukung dan molekul pembawa atau yang biasa disebut *carrier*. Salah satu molekul pembawa (*carrier*) berbasis senyawa alam yang dapat digunakan adalah eugenol. Eugenol merupakan salah satu komponen dari minyak cengkeh. Eugenol memiliki tiga gugus fungsional yaitu gugus alil, hidroksi, dan metoksi. Melalui gugus alil inilah eugenol dapat dipolimerisasi menjadi polieugenol (Ngadiwiyana dkk., 2008). Polimerisasi eugenol ini bertujuan untuk meningkatkan pemanfaatan potensi eugenol yang dapat digunakan sebagai bahan jadi untuk senyawa pembawa dengan teknik membran cair (Djunaidi dkk., 2010). Pemilihan polieugenol sebagai senyawa *carrier* dikarenakan fenol dan polieugenol merupakan dua senyawa yang sama-sama memiliki gugus -OH dan senyawa polieugenol dapat membentuk interaksi karena mempunyai dua atau lebih cincin benzena sehingga memungkinkan keduanya saling berinteraksi satu sama lain (Fessenden dan Fessenden, 1990).

Polieugenol dapat di sambung silang dengan senyawa diena melalui reaksi kopolimerisasi. Senyawa diena tersebut adalah dialil ftalat (DAF). Reaksi kopolimerisasi antara polieugenol dengan senyawa dialil ftalat (DAF) ini bertujuan dalam upaya meningkatkan sisi aktif membran yang akan

mempengaruhi kemampuan membran dalam interaksi dengan senyawa target. Hal tersebut dikarenakan sambung silang ini akan menyebabkan berat molekul hasil polimer menjadi besar karena menghasilkan senyawa kopoli eugenol DAF (Handayani dkk., 2004). Karena berat molekul semakin besar maka sisi aktif (gugus –OH dan cincin benzena) yang dimiliki akan semakin banyak. Peningkatan sisi aktif pada polimer hasil sintesis ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan transpor sehingga proses transpor lebih cepat dan efisien.

Berdasarkan hal di atas, maka akan dilakukan transpor fenol dengan teknik SLM menggunakan membrane PTFE (*polytetrafluoroetilene*) dengan molekul pembawa berupa kopoli(eugenol-DAF) yang akan dikaji dari berbagai faktor yang mempengaruhi proses transpor. Penggunaan kopoli(eugenol-DAF) yang merupakan polimer hasil kopolimerisasi eugenol dengan senyawa diena yaitu dialil ftalat (DAF) ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan transpor sehingga proses transpor lebih cepat dan efisien.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan transpor fenol menggunakan senyawa *carrier* kopoli (eugenol-DAF) dengan metode *Supported Liquid Membrane* (SLM).
2. Mempelajari pengaruh pH fase sumber, konsentrasi fase penerima, waktu pencelupan membran, konsentrasi senyawa *carrier* dalam membran dan waktu pada transpor fenol yang menggunakan membran PTFE.

3. Mempelajari kinetika transpor fenol menggunakan membran PTFE yang mengandung senyawa *carrier* kopoli (eugenol-DAF) dengan metode *Supported Liquid Membrane* (SLM).

### **C. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah informasi baru tentang pemanfaatan senyawa pembawa hasil sambung silang berupa kopoli(eugenol-DAF) pada transpor fenol dengan metode SLM.
2. Mengetahui pengaruh kondisi optimum pada proses transpor fenol menggunakan senyawa pembawa kopoli(eugenol-DAF).
3. Memberikan kontribusi pada upaya pengurangan limbah organik berupa fenol pada lingkungan perairan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Fenol dan Penanganan Limbah Fenol

Suatu senyawa kimia yang dikenal sebagai monohidroksi benzena dengan rumus struktur  $C_6H_5OH$  adalah fenol. Fenol merupakan kristal putih dengan titik leleh  $40,85\text{ }^{\circ}C$  dan titik didih  $182\text{ }^{\circ}C$ . Senyawa ini larut dalam air pada temperatur kamar. Setiap 1 g fenol larut dalam 15 mL air, larut dalam 12 mL benzena dan sangat larut dalam alkohol, kloroform, eter, gliserol dan karbon disulfida. Fenol merupakan asam lemah dengan  $pK_a$  9,98 (Cichy and Szymanowski, 2002). Fenol merupakan senyawa organik yang bersifat toksik dan mudah larut dalam air sehingga senyawa tersebut mudah menimbulkan pencemaran apabila masuk ke dalam suatu perairan. Hal ini dikarenakan, jika suatu perairan terkena pencemaran fenol akan mengakibatkan turunnya kualitas air dan gangguan terhadap ekosistem perairan. Banyak industri menggunakan senyawa fenol dalam proses produksi maupun sebagai salah satu bahan dasar (Suhandi dkk., 2006).

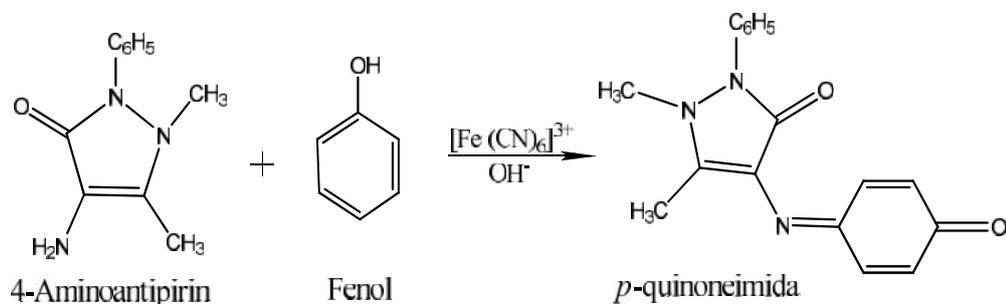
Fenol adalah limbah utama yang pada air limbah dari beberapa aktivitas industri seperti batubara, pekerjaan tambang, penyulingan gasolin, produksi farmasi, pabrik baja dan besi, dan penyamakan kulit. Limbah fenol juga dihasilkan dari limbah cair industri mikroelektronik, industri minyak dan gas, tekstil, kertas,

otomotif, pabrik bahan kimia, serat gelas, bubur kertas, perekat, kayu lapis, cat, keramik, plastik, dan sebagainya.

Konsentrasi fenol dalam limbah industri berkisar 100-1000 mg/L (Stanisavljevic and Nedic, 2004). Keberadaan limbah fenol dalam suatu perairan dapat menimbulkan efek kronik bagi organisme dan menyebabkan kematian pada ikan pada konsentrasi yang sangat rendah, yakni 5–25 mg/L (Alva dan Peyton, 2003). Hal tersebut dikarenakan, fenol dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi oleh organisme perairan (akuatik). Fenol dapat masuk ke dalam tubuh melalui air minum dan makanan yang berasal dari organisme akuatik, oleh sebab itu pemulihan fenol dari air limbah merupakan hal yang sangat penting untuk melindungi dan melestarikan lingkungan, karena limbah fenol yang bersifat toksik dan korosif dapat mengakibatkan pencemaran apabila dibuang begitu saja sebelum mengalami pengolahan.

Metode umum yang digunakan dalam mengatasi limbah fenol dengan cara mengetahui kadar fenol yang terbuang ke dalam limbah industri yaitu metode spektrofotometri UV-Vis dengan menggunakan 4-AAP sebagai reagen pengompleks (Venkanteswaran and Palanivelu, 2006). Menurut Badan Standardisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004. Pada prinsipnya, semua fenol dalam air akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin dalam suasana kalium ferri sianida ( $K_3Fe(CN)_6$ ) yang akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Jika larutan berwarna sudah terbentuk kemudian diekstraksi dari larutan fenol menggunakan kloroform dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang

460 nm atau 500 nm. Konsentrasi senyawa fenol dinyatakan dalam mg/L. Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin (Sousa and Transcoso, 2009).

Selain menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis, beberapa peneliti juga melakukan berbagai macam metode lain dalam upaya mengatasi limbah fenol. Slamet dkk. (2005) melakukan pengolahan limbah fenol secara simultan menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO-TiO}_2$  dan  $\text{CdS-TiO}_2$ . Swantomo dkk. (2009) menggunakan metode adsorpsi fenol dengan batu bara, arang aktif, dan kalsium karbonat. Urtiaga *et al.* (2009) melakukan *recovery* fenol dari resin fenolat dengan menggunakan *emulsion pertraction technology* (EPT). Carmona *et al.* (2006) melakukan kajian adsorpsi dan pertukaran ion fenol pada Amberlite IRA-420. Metode-metode tersebut mempunyai kekurangan, seperti biaya operasional yang tinggi, pembentukan produk samping yang berbahaya, efisiensi dan konsentrasi terbatas untuk metode tertentu dan tidak ekonomis karena membutuhkan bahan, biaya dan energi yang besar (Sun *et al.*, 2008). Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk menangani limbah fenol adalah teknologi membran. Teknologi membran diyakini mempunyai keuntungan dibanding metode pengolahan lainnya, antara lain dari segi teknik, ekonomi dan energi.

## B. Teknologi Membran

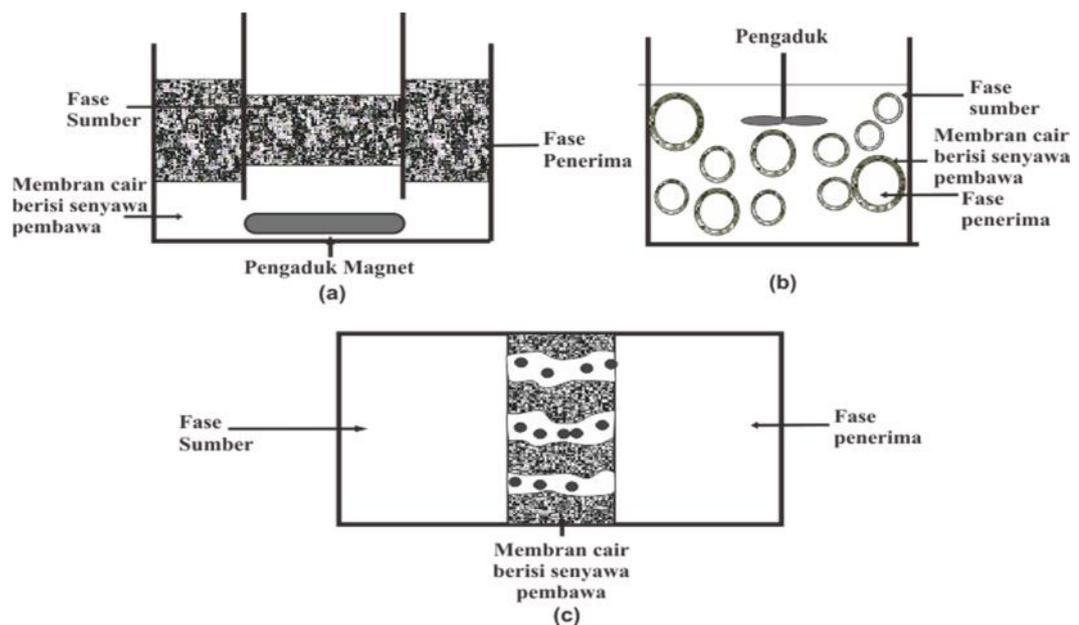
Sebuah lapisan semipermeabel yang tipis dan berfungsi sebagai penghalang diantara dua fase dinamakan dengan membran. Proses pemisahan dengan menggunakan membran akan sempurna apabila senyawa dari campuran berpindah melewati membran lebih cepat dari campuran senyawa lainnya (Kislik, 2010). Al (2003) mendefinisikan membran sebagai suatu lapisan tipis antara dua fase fluida yang bersifat sebagai penghalang terhadap spesies tertentu dan membatasi transpor dari berbagai spesies berdasarkan sifat fisik dan kimianya. Berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan, membran dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu membran berpori (*porous membrane*), membran tidak berpori (*non porous membrane*) dan membran cair (*liquid/carrier membrane*).

Membran cair merupakan salah satu dari teknologi membran, yakni lapisan semipermeabel yang tipis dan dapat digunakan untuk memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu (Mulder, 1996). Prinsip pemisahan membran cair ditentukan oleh sifat molekul pembawa spesifik. Senyawa pembawa (*carrier*) berada tetap didalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Senyawa pembawa juga harus menunjukkan aktivitas yang spesifik terhadap satu komponen pada fase sumber sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi. Selain itu, *permiselectivity* komponen sangat tergantung pada spesifikasi bahan pembawa tersebut. Membran cair terdiri dari cairan yang berperan sebagai penghalang semipermeabel dan tidak bercampur dengan fase sumber maupun fase penerima (Bartsch and Way, 1996).

Suatu transpor melalui membran merupakan proses difusi antara fase sumber, membran dan fase penerima. Menurut Ferraz *et al.* (2007) mekanisme transpor senyawa melewati membran cair dibagi menjadi beberapa tahap:

1. Penyerapan pada permukaan fase sumber
2. Terjadinya reaksi kompleks dengan senyawa pembawa (*carrier*)
3. Difusi antara senyawa target atau kompleks senyawa target dengan pembawa melewati membran cair
4. Penguraian senyawa target dan membran pembawa pada permukaan fase penerima
5. Pelepasan senyawa target

Proses di atas dapat disingkat menjadi tiga tahap, yaitu difusi antara senyawa target dengan senyawa pembawa pada membran, pembentukan kompleks senyawa atau interaksi senyawa target dengan senyawa pembawa dan pelepasan senyawa target ke fase penerima.



**Gambar 2.** Membran cair (a) BLM, (b) ELM, (c) SLM (Pattilo, 1995).

Membran cair diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*, BLM), membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membranes*, ELM) dan membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membranes*, SLM).

Perbedaan ketiga jenis membran ini terlihat pada gambar 2.1. Membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*, BLM) terdiri dari sejumlah besar (*bulk*) fase sumber dan penerima yang dipisahkan oleh sejumlah besar pelarut organik yang tidak bercampur dengan air. Biasanya BLM dipisahkan tanpa pendukung mikropori, sehingga disebut sebagai lapisan BLM (Kislik, 2010). Menurut Gardner *et al.* (2006) ditinjau dari aspek ekonomis, BLM tidak dapat digunakan dalam skala industri. Hal ini dikarenakan BLM memiliki luas permukaan yang kecil, sehingga penggunaannya terbatas pada kajian transpor dalam skala laboratorium.

Berbeda dengan BLM, maka pada ELM membran memiliki permukaan yang luas dan ketebalan yang tipis, sehingga membuat proses pemisahan dan pengumpulan emulsi menjadi cepat. ELM termasuk salah satu dari membran cair yang mana fase penerimanya merupakan fase emulsi dari campuran membran cair. Biasanya pada sistem ELM, fase penerima diemulsikan dalam membran cair, kemudian membran cair terdispersi ke dalam fase sumber dan terjadi transfer massa dari fase sumber ke fase penerima (Kislik, 2010). Permasalahan dalam metode ELM yaitu metode ini memiliki pembawa emulsi yang tidak cukup stabil dan sulit memecah emulsi yang terbentuk sehingga dapat merusak pemisahan. Untuk mengatasi kekurangan dari metode BLM dan ELM, maka metode SLM banyak digunakan oleh beberapa peneliti karena metode ini memiliki banyak keuntungan apabila dibandingkan dengan metode membran lainnya.

Kinerja membran itu sendiri ditentukan oleh permeabilitas dan selektivitas. Permeabilitas adalah kemampuan suatu membran untuk meloloskan suatu molekul (spesi) yang menembus atau melaluinya, sedangkan selektivitas adalah ukuran suatu membran untuk memisahkan suatu komponen dari fase sumber. Secara kuantitas, permeabilitas dinyatakan sebagai fluks dan selektivitas dinyatakan sebagai koefisien rejeksi. Fluks adalah jumlah volume sampel yang melewati satuan luas membran dalam waktu tertentu dengan adanya daya dorong berupa tekanan. Sedangkan, koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran (Mulder, 1996).

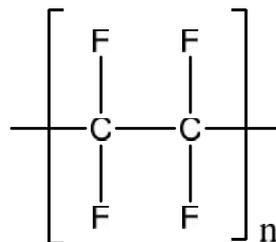
### **C. Membran Cair Berpendukung (*Supported Liquid Membrane, SLM*)**

Membran cair berpendukung adalah salah satu metode pemisahan berbasis membran yang dikembangkan dari teknik ekstraksi pelarut, yaitu dengan mengamobilkan zat pengekstraksi (*carrier*) pada suatu membran polimer berpori (Basir, 2015). Prinsip kerja dari SLM sama seperti membran cair yaitu komponen yang dipisahkan dari fase sumber berdifusi melewati fase membran dan menuju ke fase penerima. Daya dorongnya adalah perbedaan konsentrasi antara kedua komponen tersebut. Efisiensi transpor membran bergantung pada perbedaan koefisien partisi pada sistem membran. Komponen yang mampu tertranspor adalah komponen yang mudah berdifusi dari fase sumber ke fase membran, dan mudah terlepas dari fase membran ke fase penerima. Dzygiel and Wieczorek (2010) pada buku membran cair bagian ketiga menerangkan bahwa membran cair berpendukung merupakan salah satu dari sistem membran tiga fase yang mana fase membran (cair) didesain dengan gaya kapilaritas dalam pori dari suatu

lapisan polimer atau lapisan anorganik yang berpori sangat kecil. Membran SLM memiliki dua komponen senyawa yang terdiri dari polimer sebagai senyawa pendukung dan bahan-bahan pendukung anorganik.

a. Polimer

Polimer yang dijadikan sebagai senyawa pendukung pada SLM harus memenuhi karakteristik memiliki hidrofobisitas yang tinggi, porositas yang tinggi, dan ukuran pori yang kecil. Fungsi senyawa pendukung dalam suatu SLM adalah untuk mengimobilisasi membran cair. Penggunaan senyawa pendukung berpengaruh pada stabilitas SLM, umur hidup dan kemampuan membran cair. Contoh polimer yang dijadikan senyawa pendukung pada membran berlapis adalah polipropilena (PP), *poly(tetrafluoroetilene)* (PTFE) dan *poly(vinylidene fluoride)* (PVDF). Jenis polimer polipropilena (PP) bersifat tahan terhadap pelarut biasa. Jenis polimer *poly(tetrafluoroetilene)* (PTFE), merupakan polimer yang bersifat kristalin, stabil terhadap panas, tidak larut terhadap pelarut biasa dan kuat terhadap pengaruh zat kimia. Sedangkan jenis polimer *poly(vinylidene fluoride)* (PVDF) mempunyai sifat kuat terhadap panas maupun terhadap zat kimia akan tetapi tidak sebaik PTFE (Supriyanto, 1996). Oleh karena itu pada penelitian ini, polimer yang digunakan adalah polimer jenis PTFE. Struktur PTFE dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Struktur *poly(tetrafluoroetilene)* (PTFE).

b. Bahan pendukung anorganik

Bahan-bahan anorganik seperti logam, logam oksida dan zeolit juga dapat dijadikan senyawa pendukung dalam SLM. Salah satu keuntungan menggunakan bahan anorganik adalah memiliki stabilitas termal dan mekanik serta memiliki daya tahan terhadap pelarut. Pembentukan membran anorganik biasanya dilakukan dengan sintesis hidrotermal, proses sol gel, dan lain-lain.

Penelitian menggunakan metode SLM telah banyak dilakukan, Nisola *et al.* (2010) melakukan pemisahan zat warna rhodamin 6G dan air menggunakan campuran senyawa organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keadaan optimum zat warna rhodamin 6G mampu tertransportasi dengan baik pada pH 1 fase sumber. Kazemi *et al.* (2013) juga melakukan pemisahan zat warna metilena biru dari limbah cair industri tekstil dengan menggunakan metode SLM. Pemisahan dilakukan dengan membran PTFE (*polytetrafluoroethylene*) yang menggunakan *mono-(2-ethylhexyl) ester of phosphoric acid* (M2EHPA) dan *bis-(2-ethylhexyl) ester of phosphoric acid* (D2EHPA) sebagai senyawa *carrier* dan minyak sayur sebagai membran cair. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keadaan optimum zat warna metilena biru mampu tertransportasi dengan baik pada pH 6 pada fase sumber dan konsentrasi asam asetat pada fase penerima yaitu 0,4 M. Metode SLM juga mampu memperoleh kembali (*recovery*) bismuth dari perairan menggunakan Cyanex 921 sebagai ekstraktan (Reyes-Aguilera *et al.*, 2008). Penambahan HCl pada fase sumber meningkatkan efisiensi SLM. Persentase *recovery* bismuth paling tinggi dicapai dengan menggunakan HCl 0,5 M yaitu sebesar 90%. Muthuraman and Palanivelu (2006) menggunakan minyak sayur sebagai *carrier* dalam membran untuk *recovery* zat warna tekstil dengan sistem SLM.

Metode SLM juga dapat digunakan untuk *recovery* atau transpor suatu logam. Tayeb *et al.* (2007) melakukan transpor Cr(III) menggunakan metode SLM dengan Lasalocid A sebagai senyawa pembawa dan asam nitrat sebagai fase penerimanya. Jariah dkk. (2017) melakukan *recovery* perak dari limbah dengan menggunakan membran PTFE. Senyawa *carrier* yang digunakan yaitu campuran D2EHPA dan TPB dan pelarut yang digunakan yaitu kerosen. Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan senyawa pengkompleks berupa Na<sub>2</sub>EDTA dan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ke dalam asam nitrat yang berada pada fase penerima yang bertujuan untuk memaksimalkan proses transpor. Hasil yang didapatkan yaitu senyawa perak dapat tertranspor dengan baik ketika penambahan senyawa kompleks Na<sub>2</sub>EDTA, sedangkan penambahan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada fase penerima tidak menaikkan persen transpor. Pemisahan limbah Pb dengan metode SLM juga telah dilakukan oleh Indarti dkk. (2017). Penelitian tersebut dilakukan dengan memvariasikan jumlah senyawa pembawa yaitu *Polyethylene Glycol-400* (PEG-400) dan konsentrasi dari fase sumber yang berupa larutan Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> menggunakan membran selulosa asetat. Hasilnya menunjukkan bahwa kondisi optimum ion Pb dapat tertranspor dengan baik pada variasi jumlah senyawa pembawa paling besar dan konsentrasi larutan fase sumber paling kecil.

Penelitian mengenai *recovery* fenol dari perairan dengan menggunakan minyak sayur sebagai membran cair dengan sistem SLM juga telah dilakukan oleh Venkateswaran dan Palanivelu (2006). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kondisi transpor optimum dicapai pada pH 2 pada fase sumber yang berisi larutan fenol dan konsentrasi optimum fase penerima (NaOH) yaitu 0,2 M, serta minyak kelapa dapat membentuk SLM yang stabil pada membran PTFE

(*polytetrafluoroethylene*). Pemisahan fenol dari limbah cair dengan metode SLM juga telah dilakukan oleh *Othman et al.* (2015). Penelitian tersebut menggunakan membran polipropilen dengan pelarut kerosen dan minyak kelapa sawit yang berada pada membran cair. Hasilnya menunjukkan bahwa fenol dapat tertransportasi dengan baik pada kondisi optimum yaitu pH 4 pada fase sumber yang berisi larutan fenol dengan kecepatan laju alir 150 mL/menit, dan konsentrasi NaOH pada fase penerima sebesar 1 M. Transportasi tersebut dilakukan selama 5 jam dan menunjukkan bahwa fenol dapat tertransportasi sebanyak 43%.

Metode SLM memiliki beberapa kelebihan apabila dibandingkan dengan metode membran lainnya, yaitu dapat digunakan sebagai penghalang fase sumber dan fase penerima karena cairan organik yang berada dalam pori-pori kecil polimer pendukung tidak bercampur dengan fase sumber dan fase penerima (*Koecherginsky et al.*, 2007). Selain itu, SLM mempunyai kelebihan yaitu membutuhkan biaya yang sedikit, operasional yang mudah, penggunaan energi yang rendah, dengan jumlah ekstrak mahal yang dikurangi tetap menghasilkan selektivitas yang baik (*Venkateswaran dan Palanivelu*, 2006). Akan tetapi metode SLM masih memiliki beberapa kekurangan yakni stabilitas yang rendah karena ada beberapa komponen membran cair yang keluar dari pori polimer dengan mudah (*Kislik*, 2010).

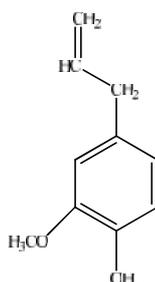
#### **D. Polimerisasi Eugenol**

Eugenol merupakan salah satu komponen kimia dalam minyak cengkeh yang memberikan bau dan aroma yang khas pada minyak cengkeh, yaitu 79-90%

volume (Ketaren, 1985). Senyawa ini memiliki rumus kimia  $C_{10}H_{12}O_2$  dengan berat molekul 164,2 g/mol dan memiliki nama IUPAC 2-metoksi-4-(2-propenil) fenol yang dikelompokkan dalam keluarga alilbenzena dari senyawa-senyawa fenol. Considine and Considine (1982) menyatakan bahwa eugenol murni merupakan cairan tidak berwarna, bening hingga kuning pucat, kental seperti minyak, berbau keras, dan mempunyai rasa pedas. Eugenol mudah berubah menjadi kecoklatan apabila dibiarkan di udara terbuka. Eugenol bersifat larut dalam alkohol, khloroform dan eter, dan asam asetat glasial, mudah menguap dan sukar larut dalam air. Berikut ini adalah sifat fisiokimia dari eugenol yang telah dijelaskan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Sifat fisiokimia eugenol

Karakteristik	Nilai
Bobot jenis (25 °C)	1,053-1,064 gram.cm <sup>-3</sup>
Indeks bias 25 °C	1,538-1,542"
Titik didih	255 °C
Putaran optik	-1°30'
Titik leleh	-7,5 °C
Kelarutan	1:5 atau 1:6 dalam alkohol 50%, tidak larut dalam air, larut dalam eter, kloroform dan asam asetat

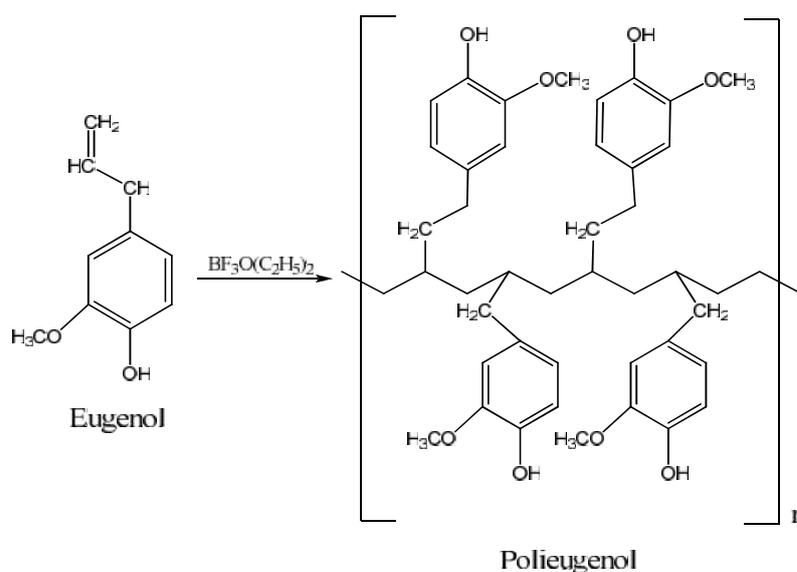


**Gambar 4.** Senyawa eugenol.

Berdasarkan struktur eugenol pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa eugenol mempunyai gugus hidroksi, metoksi dan alil sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai dasar sintesis senyawa lain.

Polimerisasi dengan bahan baku senyawa alam seperti eugenol merupakan suatu hal yang relatif baru dilakukan, maka pengembangan dan pemanfaatan monomer eugenol semakin diperluas. Eugenol dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam sintesis polieugenol yang dapat digunakan sebagai senyawa pembawa (*carrier*) dalam transpor membran cair. Syarat polimer yang dapat digunakan sebagai *carrier* pada fase membran yaitu mempunyai berat molekul yang tinggi serta memiliki struktur yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan senyawa yang akan ditranspor (Walkowiak *et al.*, 2002).

Proses polimerisasi eugenol merupakan proses polimerisasi adisi kationik, hal ini dikarenakan gugus vinil dari polieugenol mengalami reaksi adisi. Reaksi polimerisasi menggunakan katalis  $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  terjadi melalui tahapan: inisiasi, propagasi, dan terminasi. Proses ini berkelanjutan sampai diperoleh rantai monomer yang panjang. Pada tahap ini terjadi penataan ulang intermolekuler dari karbokation. Pada tahap terminasi dilakukan penambahan metanol untuk menghentikan pertumbuhan rantai.



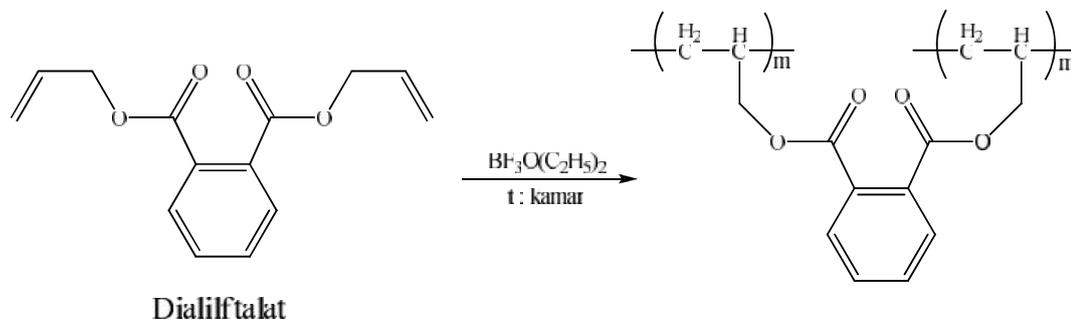
**Gambar 5.** Reaksi polimerisasi eugenol menjadi polieugenol (Purwasih, 2013).

### E. Kopoli (Eugenol-DAF)

Sebagai alternatif untuk meningkatkan sisi aktif dapat dilakukan dengan cara kopolimerisasi melalui ikatan rangkap dua (senyawa-senyawa diena). Senyawa diena yang dapat digunakan adalah dialil ftalat (DAF). Ikatan rangkap dua pada senyawa diena mempunyai sifat yang reaktif sehingga proses sintesis dapat dengan mudah dilakukan hanya pada suhu kamar saja menggunakan katalis asam lunak. Polimerisasi senyawa diena akan terjadi pada bagian gugus alil. Polimerisasi dapat digambarkan seperti pada Gambar 6.

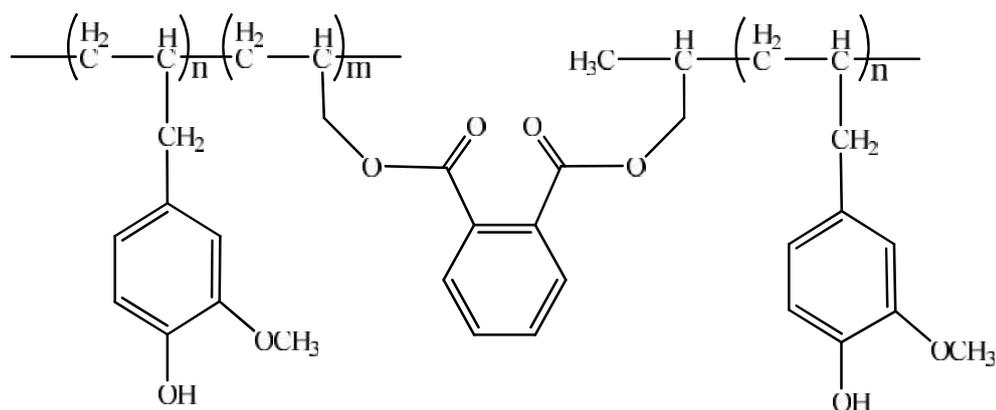
Kopoli (Eugenol-DAF) merupakan senyawa hasil modifikasi melalui kopolimerisasi dari senyawa eugenol yang diharapkan dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer yang digunakan sebagai senyawa *carrier* pada proses transpor fenol. Eugenol yang memiliki ikatan rangkap dua yang jika ditambahkan monomer diena sebagai agen pertautan silang akan menghasilkan suatu kopolimer yang tertaut silang. Semakin banyak agen pertautan silang (*crosslinking agent*) menyebabkan berat molekul semakin tinggi serta meningkatkan fraksi gel dan viskositas polimer. Eugenol mampu berinteraksi dengan fenol, karena adanya sisi aktif -OH dan cincin benzena, tetapi interaksi ini sangat terbatas, dikarenakan jumlah sisi aktif yang terdapat pada eugenol sangat rendah. Rendahnya sisi aktif dan cincin benzena ini dikarenakan berat molekul polieugenol yang kecil. Pada eugenol yang telah ditaut silang dengan senyawa-senyawa diena yang telah dijelaskan pada Gambar 7 menyatakan bahwa senyawa turunan polieugenol ini akan memiliki berat molekul yang lebih besar dibandingkan eugenol yang dihasilkan tidak melalui taut silang, sehingga jumlah sisi aktif semakin banyak,

dan eugenol menjadi lebih stabil, hasilnya sisi aktif dapat berinteraksi dengan senyawa target fenol lebih banyak, sehingga menyebabkan peningkatan kecepatan transpor.



**Gambar 6.** Reaksi polimerisasi dialil ftalat (DAF) (Kiswandono, 2014).

Kopoli(eugenol-DAF) memiliki persamaan struktur dengan polieugenol. Keduanya sama-sama memiliki gugus  $-OH$  dan senyawa benzena. Gugus hidroksi ( $-OH$ ) tersebut mampu membentuk ikatan hidrogen dengan senyawa lain. Atom hidrogen yang parsial positif dari satu molekul ditarik oleh pasangan elektron bebas dari atom suatu molekul lain yang elektronegatif dan tarikan ini disebut ikatan hidrogen. Energi disosiasi ikatan hidrogen hanya 5-10 kkal/mol, lebih kuat daripada kebanyakan tarikan dipol-dipol lainnya. Ikatan hidrogen seperti perekat antara molekul. Walaupun ikatan hidrogen sendiri bersifat lemah tetapi molekul kopoli(eugenol-DAF) merupakan molekul besar dan berikatan dengan fenol dalam jumlah banyak dan akan meningkatkan kekuatan ikatan hidrogen tersebut (Fessenden and Fessenden, 1990).



**Gambar 7.** Prediksi struktur turunan polieugenol hasil taut silang dengan DAF (Kiswandono, 2014).

Selain memiliki gugus  $-OH$ , kopoli(eugenol-DAF) memiliki struktur benzena yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan cincin benzena aromatis pada fenol. Benzena memiliki enam karbon  $sp^2$  dalam sebuah cincin. Cincin datar dan tiap karbon memiliki sebuah orbital p tegak lurus pada bidang cincin ini.

Tumpang tindihnya keenam orbital p mengakibatkan terbentuknya enam orbital molekul. Interaksi  $\pi-\pi$  merupakan interaksi yang terbentuk dari dua cincin benzena atau lebih. Interaksi yang terjadi pada polieugenol dan fenol pada proses transpor fenol adalah ikatan hidrogen dan interaksi  $\pi-\pi$  (Kiswandono, 2010).

Mekanisme transpor fenol dengan membran kopoli(eugenol-DAF) diprediksi terjadi melalui ikatan hidrogen dan interaksi  $\pi-\pi$  antara fenol dan kopoli(eugenol-DAF). Selain itu, reaksi fenol dengan NaOH pada fase penerima menyebabkan anion fenolat tidak dapat kembali ke membran hidrofobik maupun ke fase sumber. Transpor pada membran terjadi jika komponen fenolik berada pada keadaan tidak terdisosiasi pada fase sumber dan sebagai ion fenolat pada fase penerima. Pada

kondisi ini pH sumber berpengaruh terhadap proses transpor fenol (Lee *et al.*, 2002).

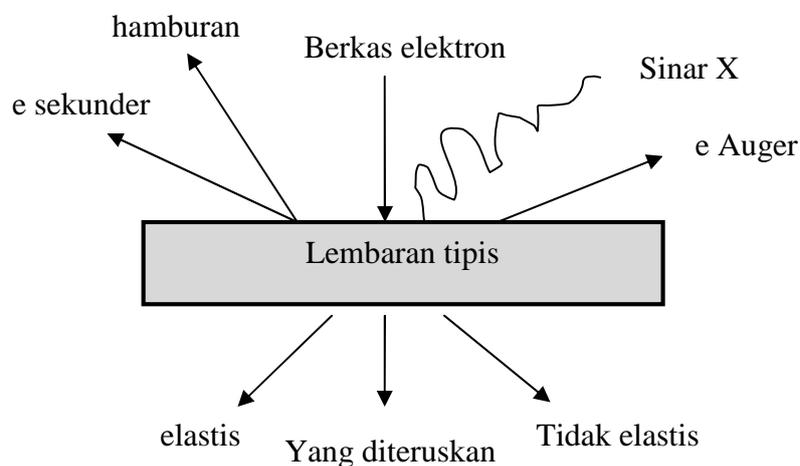
## **F. Karakterisasi**

### **1. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)**

SEM adalah suatu instrumen penghasil berkas elektron pada permukaan spesimen target dan mengumpulkan serta menampilkan sinyal-sinyal yang diberikan oleh material target. Alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) memiliki kegunaan dalam melakukan karakterisasi material yang heterogen pada permukaan bahan skala mikrometer atau bahan submikrometer. Pada SEM dapat diamati karakteristik bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan. Prinsip kerja alat ini adalah sumber elektron dari *filament* yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Apabila elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*specimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik (Smallman, 2000).

Struktur suatu material dapat diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi jika suatu *specimen* padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh tersebut sebagian akan dihamburkan sedang sebagian lagi akan diserap dan menembus *specimen*. Bila *specimen* cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam *specimen* menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi

material. Berikut ini adalah gambaran mengenai hamburan elektron-elektron apabila mengenai *specimen* disajikan pada Gambar 8.



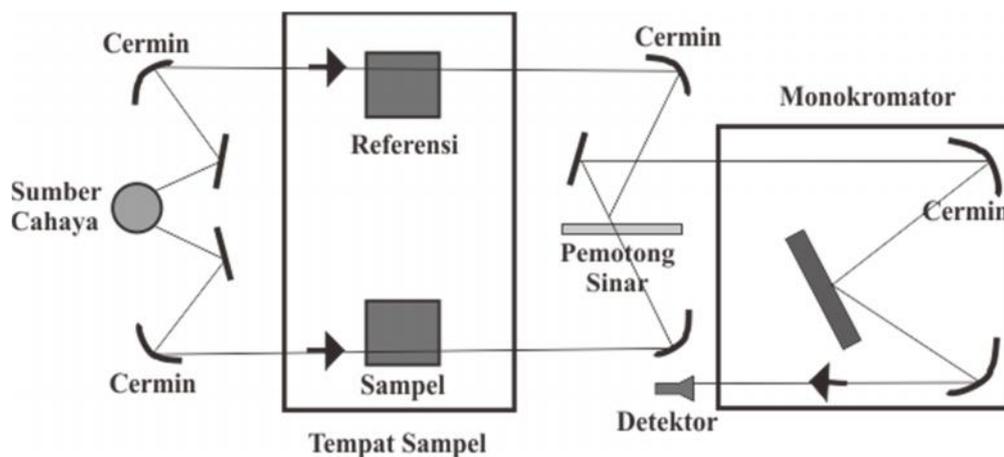
**Gambar 8.** Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 2000).

Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron dengan energi rendah, foton sinar-X, dan elektron Auger, yang seluruhnya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material. Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit atom terluar yang dihasilkan dari interaksi berkas elektron jauh dengan padatan sehingga mengakibatkan terjadinya loncatan elektron yang terikat lemah dari pita konduksi. Elektron Auger adalah elektron dari kulit orbit terluar yang dikeluarkan dari atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah (Smallman, 2000).

## 2. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

*Fourier Transform Infra Red (FTIR)* merupakan suatu metode spektroskopi *infra red* yang digunakan untuk mengamati interaksi-interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik. Metode ini didasarkan pada absorpsi radiasi inframerah oleh sampel yang akan menghasilkan perubahan keadaan vibrasi dan rotasi dari molekul sampel. Vibrasi dapat terjadi karena energi yang berasal dari sinar infrared tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembak yang mana besarnya energi vibrasi tiap atom atau molekul berbeda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga dihasilkan frekuensi yang berbeda pula. Intensitas absorpsi bergantung pada seberapa efektif energi foton inframerah dipindahkan ke molekul, yang dipengaruhi oleh perubahan momen dipol yang terjadi akibat vibrasi molekul (Amand and Tullin, 1999).

Hal yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasi kurva serapan inframerah adalah bilangan gelombang, bentuk kurva serapan (sempit tajam atau melebar) dan intensitas serapan (kuat, sedang, atau lemah). Hubungan antara persen absorbansi dengan frekuensi dapat menghasilkan sebuah spektrum inframerah (Kosela, 2010). Skema alat spektroskopi FTIR dan instrument spektroskopi FTIR dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Skema alat FTIR (Dachriyanus, 2004)

Menurut Dachriyanus (2004), Jika suatu frekuensi tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel suatu senyawa organik maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Detektor yang ditempatkan pada sisi lain dari senyawa akan mendeteksi frekuensi yang dilewatkan pada sampel yang tidak diserap oleh senyawa. Banyaknya frekuensi yang melewati senyawa (yang tidak diserap) akan diukur sebagai persen transmittan. Spektrofotometer inframerah pada umumnya digunakan untuk menentukan gugus fungsi suatu senyawa organik dan mengetahui informasi struktur suatu senyawa organik dengan membandingkan daerah sidik jarinya. Kisaran serapan yang kecil dapat digunakan untuk menentukan tipe ikatan. Untuk memperoleh hal tersebut maka dibutuhkan tabel korelasi dari IR. Daerahnya dapat dibagi menjadi empat daerah disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Korelasi FTIR

<b>Rentang (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Jenis Ikatan</b>
3700-2500	Ikatan tunggal ke hidrogen
2300-2000	Ikatan rangkap tiga
1900-1500	Ikatan rangkap dua
1400-650	Ikatan tunggal selain ke hidrogen

### 3. Spektrofotometri *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis)

Spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran panjang gelombang, intensitas sinar ultraviolet, dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Sinar ultraviolet dan cahaya tampak memiliki energi yang cukup untuk mempromosikan elektron pada kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Spektroskopi UV-Vis biasanya digunakan untuk molekul dan ion anorganik atau kompleks di dalam larutan. Spektrum UV-Vis mempunyai bentuk yang lebar dan hanya sedikit informasi tentang struktur yang bisa didapatkan dari spektrum ini sangat berguna untuk pengukuran secara kuantitatif. Sinar ultraviolet berada pada panjang gelombang 200-400 nm, sedangkan sinar tampak berada pada panjang gelombang 400-800 nm. Kebanyakan penerapan spektrofotometri UV-Vis pada senyawa organik didasarkan n- \* ataupun - \* karena spektrofotometri UV-Vis memerlukan hadirnya gugus kromofor dalam molekul itu. Transisi ini terjadi dalam daerah spektrum (200-700 nm) yang nyaman untuk digunakan dalam eksperimen.

Spektrofotometer UV-Vis yang komersial biasanya beroperasi dari sekitar 175 nm atau 200-1000 nm. Identifikasi kualitatif senyawa organik dalam daerah ini jauh lebih terbatas daripada dalam daerah inframerah. Ini karena pita serapan terlalu

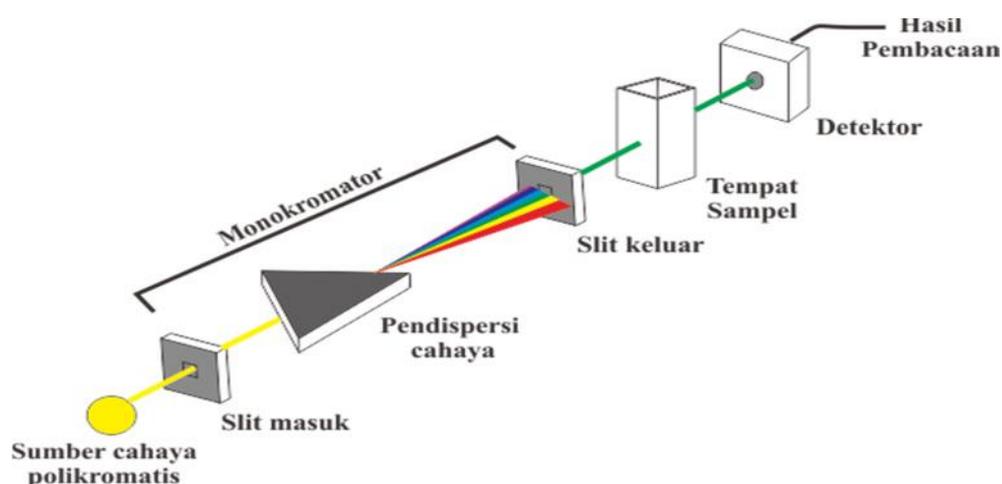
lebar dan kurang terinci. Tetapi, gugus-gugus fungsional tertentu seperti karbonil, nitro, sistem tergabung, benar-benar menunjukkan puncak yang karakteristik, dan sering dapat diperoleh informasi yang berguna mengenai ada tidaknya gugus semacam itu dalam molekul tersebut (Day dan Underwood, 1986). Prinsip kerja spektrofotometer berdasarkan hukum Lambert Beer, yaitu bila cahaya monokromatik ( $I_0$ ) melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap ( $I_a$ ), sebagian dipantulkan ( $I_r$ ), dan sebagian lagi dipancarkan ( $I_t$ ) (Huda, 2001). Menurut Khopkar (2003), instrumen spektrofotometri UV-Vis adalah :

1. Sumber sinar polikromatis, berfungsi sebagai sumber sinar polikromatis dengan berbagai macam rentang panjang gelombang. Sumber yang biasa digunakan pada daerah UV adalah lampu deuterium atau disebut juga *heavy hydrogen*, sedangkan pada daerah Vis menggunakan lampu tungsten yang sering disebut lampu wolfram, spektrofotometer UV-Vis menggunakan *photodiode* yang telah dilengkapi monokromator.
2. Monokromator, merupakan alat yang memecah cahaya polikromatis menjadi cahaya tunggal (monokromatis) dengan komponen panjang gelombang tertentu. Monokromator berfungsi untuk mendapatkan radiasi monokromator dari sumber radiasi yang memancarkan radiasi polikromatis. Monokromator terdiri dari susunan : celah (slit) masuk – filter - kisi (*grating*) – celah (slit) keluar.
3. Wadah sampel (kuvet), merupakan wadah sampel yang akan dianalisis. Kuvet dari leburan silika (kuarsa) dipakai untuk analisis kualitatif dan kuantitatif pada daerah pengukuran 190-1100 nm, dan kuvet dari bahan

glas dipakai pada daerah pengukuran 380-1100 nm karena bahan dari gelas mengabsorpsi radiasi UV.

4. Detektor, menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel. Cahaya kemudian diubah menjadi sinyal listrik oleh amplifier dan dalam rekorder akan ditampilkan dalam bentuk angka-angka pada reader (komputer).
5. *Visual display/read out*, merupakan suatu sistem baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detektor. Menyatakan dalam bentuk % transmittan maupun absorbansi.

Cara kerja alat spektrofotometer UV-Vis yaitu sinar dari sumber radiasi diteruskan menuju monokromator. Cahaya dari monokromator diarahkan terpisah melalui sampel dengan sebuah cermin berotasi. Detektor menerima cahaya dari sampel secara bergantian secara berulang-ulang. Sinyal listrik dari detektor diproses, diubah ke digital dan dilihat hasilnya, selanjutnya perhitungan dilakukan dengan komputer yang sudah terprogram (Harjadi, 1993). Skema alat spektroskopi UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Skema alat Spektrofotometri UV-Vis (Khopkar, 2003).

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan (Mei-Juli 2018) di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Universitas Lampung. Analisis spektrofotometri UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Universitas Lampung dan karakterisasi membran menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang dilakukan di Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi dan Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

#### **B. Alat dan Bahan**

##### **1. Alat-alat**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, satu rangkaian alat transpor fenol, pH meter (HM-30R), pengaduk magnet, corong pisah, alat penunjang berupa alat-alat gelas dan plastik, neraca analitik (Mettler Toledo AB54-S), *magnetic stirrer*, desikator, Spektrofotometer UV-Vis SHIMADZU, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Shimadzu 820PC, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) JSM 6360LA.

## 2. Bahan-bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, kopolimer eugenol-DAF8% hasil sintesis kopolimerisasi mahasiswa S2 Universitas Lampung, membran *WHATMAN polytetrafluoroethylene* (PTFE) dengan diameter 47 mm dan ukuran pori 0,5  $\mu\text{m}$ , akuades, bahan kimia semua kualitas *pure analysis* produksi *Merck* yaitu fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ), kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ ), metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), 4-aminoantipirin, kalium ferrisianida ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ), ammonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), pH indikator, buffer posfat, dan kertas saring.

## C. Prosedur Penelitian

### 1. Preparasi membran cair berpendukung (SLM)

Pembuatan membran cair berpendukung diawali dengan perendaman membran polimer PTFE ke dalam akuades sebanyak 10 mL yang bertujuan untuk membuka pori polimer membran PTFE tersebut. Perendaman tersebut dilakukan selama 3 jam untuk selanjutnya dikeringkan dengan menekan membran polimer tersebut menggunakan tisu.

Kemudian dilarutkan senyawa *carrier* Co-EDAF dengan konsentrasi 0,01 M ke dalam 10 ml pelarut kloroform. Setelah larutan senyawa *carrier* telah larut dengan baik dan merata kemudian dimasukkan membran polimer PTFE ke dalam larutan tersebut dan direndam selama 1 jam. Setelah itu, membran diangkat dan didiamkan beberapa menit pada suhu ruang dan kemudian dihasilkan membrane

yang telah mengandung senyawa pembawa yang akan digunakan untuk proses transpor fenol yang dilakukan pada *chamber* berdiameter 2,5 cm.

## **2. Penentuan panjang gelombang maksimum fenol**

Sebanyak 5 mL fenol 60 ppm ditambahkan dengan 5 mL akuades sehingga volumenya menjadi 10 mL dan ditambahkan dengan  $\text{NH}_4\text{OH}$  1 M dan pH-nya diatur menjadi 9,8-10,2 menggunakan buffer pospat. Kemudian, ditambahkan dengan 1 mL larutan 4-aminoantipirin 2% dan 1 mL larutan kalium ferrisianida 8% lalu dikocok dan didiamkan selama 2 jam sampai terjadi perubahan warna (merah muda). Setelah terjadi perubahan warna, larutan dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan dengan 5 mL kloroform. Corong pisah dikocok dan didiamkan beberapa saat hingga terjadi pemisahan, kemudian lapisan kloroform dipisahkan dan dilakukan pengukuran absorbansi pada ekstrak larutan kloroform menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada (panjang gelombang) 400 nm sampai 600 nm untuk mendapatkan panjang gelombang maksimum.

## **3. Transpor fenol**

### **a. Transpor fenol dengan variasi pH fase sumber**

Membran PTFE telah mengandung senyawa pembawa co-EDAF 8% di letakkan pada tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 40 mL  $\text{NaOH}$  0,01 M sebagai fase penerima dan 40 mL fenol 60 ppm sebagai fase sumber yang telah diatur pHnya yaitu 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 dan 7,5. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fase sumber dan fase penerima selama 9 jam pada

suhu kamar. Setelah selesai diaduk, fase sumber dan fase penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fase sumber dan fase penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

**b. Transpor fenol dengan variasi konsentrasi fase penerima (konsentrasi NaOH) pada pH optimum fase sumber**

Membran PTFE yang telah mengandung senyawa pembawa co-EDAF 8% di letakkan pada tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 40 mL fenol 60 ppm sebagai fase sumber dengan pH optimum dan 40 mL NaOH 0,01; 0,05; 0,1; 0,15; 0,25 dan 0,5 M sebagai fase penerima, lalu pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fase sumber dan fase penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, fase sumber dan fase penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fase sumber dan fase penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

**c. Transpor fenol dengan variasi waktu perendaman membran SLM pada pH optimum fase sumber dan konsentrasi optimum fase penerima**

Membran PTFE direndam ke dalam larutan yang telah mengandung senyawa pembawa Co-EDAF 8% dengan variasi waktu perendaman 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit untuk selanjutnya di letakkan pada tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 40 mL fenol 60 ppm sebagai fase sumber dengan pH optimum dan 40 mL NaOH dengan konsentrasi optimum sebagai fase

penerima, lalu pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fase sumber dan fase penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, fase sumber dan fase penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fase sumber dan fase penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

**d. Transpor fenol dengan variasi konsentrasi senyawa pembawa pada kondisi optimum**

Membran PTFE dicelupkan ke dalam larutan senyawa pembawa Co-EDAF 8% dengan variasi konsentrasi senyawa pembawa 0 M; 0,005 M; 0,01 M; 0,015 M dan 0,020 M pada waktu perendaman optimum. Setelah itu membran diletakkan ditengah-tengah pipa transpor. Kemudian pada pipa transpor ditambahkan 40 mL fenol sebagai fase sumber pada pH optimum dan 40 mL NaOH pada konsentrasi optimum sebagai fase penerima. Setelah itu pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fase sumber dan fase penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, fase sumber dan fase penerima diambil. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fase sumber dan fase penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

**e. Transpor fenol pada variasi waktu pada kondisi optimum**

Membran PTFE yang telah mengandung senyawa pembawa Co-EDAF 8% dengan konsentrasi optimum di letakkan pada tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 40 mL fenol 60 ppm sebagai fase sumber dengan pH

optimum dan 40 mL NaOH dengan konsentrasi optimum sebagai fase penerima. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fase sumber dan fase penerima dengan beberapa variasi waktu pada suhu kamar yaitu 1 jam, 3 jam, 5 jam, 7 jam, 9 jam, 11 jam, 13 jam dan 15 jam. Setelah selesai diaduk, fase sumber dan fase penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fase sumber dan fase penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

#### **f. Pengukuran konsentrasi fenol dalam sampel**

Sebanyak 5 mL sampel dari fase sumber dan fase penerima serta larutan standar fenol dengan variasi konsentrasi 10 ppm; 30 ppm; 50 ppm; 70 ppm; dan 90 ppm ditambahkan dengan 5 mL akuades sehingga volumenya menjadi 10 mL. Larutan tersebut diatur pH-nya menjadi 9,8-10 dengan menambahkan HCl encer/  $\text{NH}_4\text{OH}$  1 M dan 3 tetes buffer fosfat, kemudian ditambahkan 1 mL 4-aminoantipirin 2% dan kalium ferrisianida 8%. Larutan tersebut kemudian didiamkan selama 2 jam sampai terjadi perubahan warna menjadi merah muda. Setelah terjadi perubahan warna, larutan dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan dengan 5 mL kloroform. Corong pisah dikocok dan didiamkan beberapa saat hingga terjadi pemisahan, kemudian lapisan organik atau lapisan kloroform (bagian bawah) dipisahkan. Ekstrak kloroform yang diperoleh diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

#### 4. Analisis data

##### a. Penentuan persentase *recovery* fenol

Persentase *recovery* fenol merupakan banyaknya fenol yang telah tertransport ke dalam fase penerima. Penentuan % *recovery* dapat dilakukan dengan melihat persamaan menurut Gherasim *et al.* (2011) sebagai berikut :

$$\% Recovery = \left[ \frac{C_{penerima}}{C_{0\ sumber}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Keterangan :

- % *Recovery* = % fenol yang terdapat di dalam fase penerima
- $C_{0\ sumber}$  = Konsentrasi awal fenol di dalam fase sumber (ppm)
- $C_{penerima}$  = Konsentrasi fenol di dalam fase penerima (ppm)

##### b. Validasi metode

Validasi metode yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji linearitas dan penentuan LoD dan LoQ. Uji linearitas dilakukan dengan membuat deret larutan standar fenol dengan 5 variasi bertingkat yaitu 10 ppm, 30 ppm, 50 pm, 70 ppm dan 90 ppm. Sedangkan penentuan LoD dan LoQ dilakukan dengan menghitung kadar yang didapat dari respon blanko matriks tersebut dari deret standar.

Selanjutnya dihitung rerata dan standar deviasi dari kadar-kadar tersebut.

Penentuan limit deteksi (LoD) dan limit kuantisasi (LoQ) dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$LoD : A + 3 SD \quad (2)$$

$$LoQ : A + 10 SD \quad (3)$$

Keterangan :

A : Nilai rata-rata hasil analisis blanko

b : Standar deviasi hasil analisis blanko

### c. Penentuan kinetika reaksi transpor fenol

Kinetika reaksi transpor fenol dapat diketahui dari data transpor fenol pada berbagai variasi waktu transpor fenol. Data yang telah diperoleh dapat dimodelkan dengan berbagai model orde reaksi (Venkateswaran and Palanivelu, 2006).

### d. Penentuan permeabilitas dan perselektivitas

Permeabilitas membran dinyatakan sebagai fluks dan perselektivitas dinyatakan sebagai koefisien rejeksi. Berikut adalah persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan permeabilitas dan permselektivitas menurut Apriani dkk. (2017) :

$$J = V/A \times t \quad (4)$$

Keterangan :

J = Fluks ( $L/m^2 \cdot \text{Jam}$ )

V = Volume sampel (L)

A = Luas Permukaan membran ( $m^2$ )

t = Waktu (jam)

$$R = \left( 1 - \frac{C_p}{C_t} \right) \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

R = Koefisien rejeksi

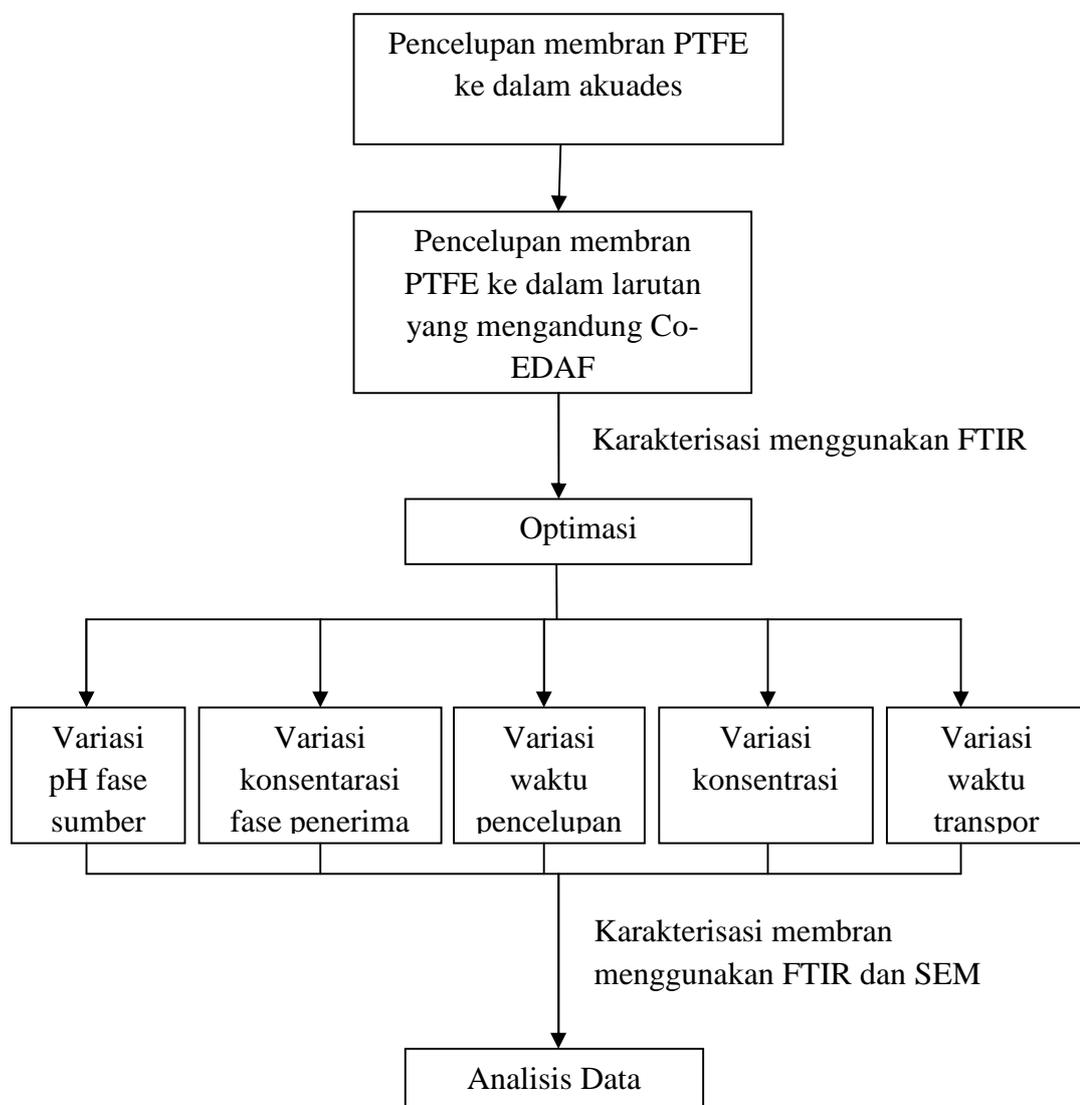
$C_p$  = Konsentrasi permeat (konsentrasi fenol yang ada pada fase penerima)

$C_t$  = Konsentrasi awal fase sumber

### e. Karakterisasi membran

Morfologi membran dengan kondisi optimum (setelah transpor fenol) dari membran SLM dengan senyawa pembawa kopoli eugenol-DAF diuji menggunakan SEM dan gugus fungsi membran dengan kondisi optimum yang terlibat sebelum dan setelah transpor fenol diuji menggunakan FTIR.

### D. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 11.** Diagram alir penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Transpor fenol dapat dilakukan menggunakan metode *Supported Liquid Membrane* (SLM) berbasis membran *polytetrafluoroethylene* (PTFE) dengan senyawa pembawa (*carrier*) kopoli (eugenol-DAF).
2. Transpor fenol mencapai nilai optimum sebesar 93,33% (56 ppm) pada kondisi pH larutan fenol fase sumber 5,5, konsentrasi larutan NaOH fase penerima 0,1 M, dengan waktu perendaman membran selama 30 menit dan konsentrasi senyawa pembawa yang digunakan sebesar 0,01 M selama 13 jam.
3. Kinetika transpor fenol mengikuti kinetika reaksi orde satu dengan nilai koefisien transfer massa ( $k$ ) sebesar  $1,02 \times 10^{-6}$  m/s.

### B. Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan:

1. Perlu dilakukan uji porositas membran, uji efektivitas senyawa *carrier* dalam membran, variasi konsentrasi fenol pada fase sumber dan uji ketahanan membran yang telah digunakan dalam kondisi optimum.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai uji pengaruh logam terhadap transpor fenol sebagai kompetitor dengan menggunakan metode *Supported Liquid Membrane* (SLM) menggunakan senyawa pembawa (*carrier*) kopoli (eugenol-DAF).

## DAFTAR PUSTAKA

- Al, Heru Pratomo. 2003. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Polisulfon Selulosa Asetat untuk Proses Ultrafiltrasi. *Jurnal Pendidikan Matematika Dall Saills*. Edisi 3 Tahun VIII.
- Alva, V.A., and Peyton, B.M. 2003. Phenol and Catechol Biodegradation by the Haloalkaliphile Halomonas Campisalis: Influence of pH and Salinity. *Environ. Sci. Technol.* 37(19) : 4397-4402.
- Amand, L. A. and C. J. Tullin. 1999. *The Theory Behind FTIR Analysis: Application Examples From Measurement at the 12 MW Circulating Fluidized Bed Boiler at Chalmers*. Dept. of Energy Conversion Chalmers University of Technology. Gitenborg, Sweden. 1–15.
- Apriani, A., Taufiqur ,R., dan Kamilia, M. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*. 9 (2) : 91-98.
- Bartsch, R.A., and Way, J.D. 1996. Chemical Separations With Liquid Membranes. *J. Am. Chem.Soc.* ACS Symposium Series Volume 642 – 422 pp.
- Basir, Djabal Nur. 2015. Kemurnian dan Nilai Faktor Pemisahan Transpor Unsur La Terhadap Unsur Nd, Gd, Lu, dengan Teknik Membran Cair Berpendukung. *Jurnal Alam dan Lingkungan*. 6 (11).
- Carmona, M., De Lucas, A., Valverde, J.L., en Velasco, Bel., and Rodr'iguez, J.F. 2006. Combined Adsorption and Ion Exchange Equilibrium of Phenol on Amberlite IRA-420. *J. Chem. Eng.* 117 : 155–160.
- Chan, C.C., Herman, L.Y.C, and X.M. Zhang. 2004. *Analytical Method Validation and Instrument Performance Verification*. John Willey & sons, inc Publication. New Jersey.
- Cichy, W., and Szymanowski, J. 2002. Recovery of Phenol from Aqueous Streams in Hollow Fiber Modules. *Environ. Sci. Technol.* 36 (9) : 2088-2093.

- Considine, D.M., dan Considine, G.D. 1982. *Food and Food Production Encyclopedia*. Van Nortand Reinhold Co. New York.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik secara Spektrofotometri*. CV Trianda Anugrah Pratama. Padang.
- Day, R. A., dan Underwood, A. L. 1986. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Kelima*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Day, R.A. dan Underwood, A.L. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Keenam*. Erlangga. Jakarta.
- Djunaidi, M.C., Lusiana, R.A., Wibawa, P.J., Siswanta, D., dan Jumina. 2010. Sintesis Turunan Polieugenol sebagai Carrier bagi Recovery Logam Berat dengan Teknik Membran Cair. *Reaktor*. 13 (1) : 16-23.
- Dz'ygiel, P., and Wieczorek, P.P. 2010. *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment, Chapter 3 :Supported Liquid Membranes and Their Modifications: Definition, Classification, Theory, Stability, Application and Perspectives*, First edition. 1000 AE Amsterdam. The Netherlands.
- Febriasari, A. 2011. *Study Recovery Fenol Menggunakan Teknologi Polymer Inclusion Membrane (PIM) Berbasis PVC dengan Polieugenol sebagai Carrier*. (Tesis). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Feraz, H.C., Duarte, L.T., Alves, M.D., Habert, A.C., dan Borges, C.P. 2007. Recent Achievements in Facilitated Transport Membrane For Separation Processes. *Braz. J. Chem. Eng.* 24 (1) : 101-118.
- Fessenden, R.J., dan Fessenden, J.S. 1990. *Kimia Organik Jilid 1 Edisi 3*, Alih bahasa A.H., Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta.
- Gandjar, I. G., dan Rohman, A. 2013. *Kimia Farmasi Analisis Edisi XI*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Gardner, J.S., Peterson, Q.P., Walker, J.O., Jensen, B.D., Adhikary, B., Harrison, R.G., and Lamb, J.D. 2006. Anion Transport Through Polymer Inclusion Membranes Facilitated by Transition Metal Containing Carriers. *J. Membr. Sci.* 277 : 165-167.
- Gherasim, C.V., Gelu, B., Romeo, I.O., and Cecilia, A. 2011. A Novel Polymer Inclusion Membrane Applied in Chromium (VI) Separation from Aqueous Solutions. *Journal of Hazardous Materials*. 197 : 244-253.
- Gherrou, A., Kerdjoudj, H., Molinari, R., dan Drioli, E. 2001. Modelization of The Transport of Silver and Copper In Acidic Thiourea Medium Through a Supported Liquid Membrane. *Desalination*. 139 : 317 – 325.

- Handayani, D.S., Kusumaningsih, T., dan Yuli, M. 2004. Sintesis Kopoli (Eugenol-DVB) Sulfonat dari Eugenol Komponen Utama Minyak Cengkeh (*Syzygium aromaticum*). *Biofarmasi*. 2 (2) : 53 – 57.
- Harjadi, W. 1993. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Huda, N. 2001. Pemeriksaan kinerja spektrofotometer UV-Vis GBC 911A menggunakan pewarna tartrazine CL 19140. *Sigma Epsilon*. 1 (20) : 15-20.
- Indarti, Dwi., Novitasari., Yudi, A. S. 2017. Pemisahan Pb(II) Menggunakan *Supported Liquid Membrane* (SLM) dengan Variasi Jumlah Senyawa Pembawa dan Konsentrasi Larutan Umpan. *Jurnal ILMU DASAR*. 18 (2) : 139-144.
- Jariah, A., Yeti, K., dan Yusran, Khery. 2017. *Pengaruh Penambahan Senyawa Pengompleks Pada Fasa Penerima Terhadap Pemisahan Logam Perak dengan Teknik SLM (Supported Liquid Membrane)*. (Prosiding Seminar Nasional Pendidik dan Pengembang Pendidikan Indonesia). Jurusan Kimia. Fakultas Ilmu Keguruan dan Pendidikan. IKIP Mataram. Nusa Tenggara Barat.
- Kazemi, P., Mohammad, P., Alireza, B., Toraj, M., and Omid, Bakhtiari. 2013. Pertraction of Methylene Blue Using a Mixture of D2EHPA/M2EHPA and Sesame Oil as a Liquid Membrane. *Chemical*. 67 (7) : 722–729.
- Ketaren, S. 1985. *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*. Balai Pustaka. Jakarta.
- Khopkar, S.M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Kinasih, E.S. 2012. *Studi Stabilitas Polymer Inclusion Membrane (PIM) Menggunakan Kopoli (Eugenol-Dialil Ftalat) Sebagai Molekul Pembawa Untuk Transpor Fenol*. (Skripsi). Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kislik, V.S. 2010. *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment*. Elsevier. Inggris.
- Kiswandono, A. S. 2010. *Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol*. (Prosiding Seminar Nasional). Jurusan Kimia. Fakultas Ilmu Keguruan dan Pendidikan. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Kiswandono, Agung Abadi. 2014. *Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM)*. (Disertasi). Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Kiswandono, A.A., dan Maslahat, M. 2011. Studi Transpor Senyawa Fenol Menggunakan Membran Cair Polieugenol dengan Pelarut Diklorometana. *Jurnal sains Natural Universitas Nusa Bangsa*. 1 (2) : 145-155.
- Kiswandono, A.A., D. Siswanta, N.H. Aprilita, S.J. Santosa, dan T. Hayashita. 2014. The Capability of Copoly (Eugenol-Divinil Benzene), Co-EDVB As a Carrier of Phenol Transport with Polymer Inclusion Membrane (PIM). *J. Enviromentally F.P.* ISSN 2328-1383 (2) : 57-68.
- Kocherginsky, N.M., Yang, Q., and Seelam, L. 2007. Recent Advances in Supported Liquid Membrane Technology. *Sep. Sci. Technol.* 53 : 171 – 177.
- Kosela, S. 2010. *Cara Mudah dan Sederhana Penentuan Struktur Molekul Berdasarkan Spektra Data (NMR, Mass, IR, UV)*. Penerbit Lembaga FE UI. Jakarta. Hal.179.
- Kozlowski, C.A., Walkowiak, W., Pellowski, W., and Koziol, J. 2002. Competitive Transpor of Toxic Metal Ions by Polymer Inclusion Membranes. *J. Radio. Nuclear. Chem.* 253 (3) : 389 – 394.
- Le, Q.T.H., Ehler, D.S., McCleskey, M., Dye, R.C., Pesiri, D.R., Jarvinen, G.D., and Sauer, R.C. 2002. Ultra-thin Gates for The Transport of Phenol from Supported Liquid Membranes to Permanent Surface Modified Membranes. *J. Membr. Sci.* 205 : 213-222.
- Li, J.M., Meng, X.G., Hu, C.W., and Du, J. 2009. Adsorption of Phenol, P-chlorophenol and P-Nitrophenol Onto Functional Chitosan. *Bioresour. Technol.* 100 : 1168-1173.
- Molva, M. 2004. *Removal of Phenol from Industrial Wastewaters Using Lignitic Coals*. (Thesis). Izmir Institute of Technology Izmir. Turkey.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrans Technology* <sup>2nd</sup> edition. Kluwer Academic Publisher. The Netherlands.
- Muthuraman, G., and Palanivelu, K. 2006. Transpor of Textile Dye in Vegetable Oils Based Supported Liquid Membrane. *Dyes Pigments.* 70 : 99 – 104.
- Ngadiwiyan, Ismiyanto, Jumina, dan Chairil Anwar. 2008. Polimerisasi Eugenol dengan Katalis Asam Sulfat Pekat. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi.* 11 (2) : 38 – 4.
- Nisola, G.M., Cho, E., Beltran, A.B., Han, M., Kim, Y., and Chung, W.J. 2010. Dye/Water Separation Through Supported Liquid Membrane Extraction. *Chemosphere.* 80 : 894 – 900.

- Ooi, Z. Y., N. Othman, M. Mohamad, and R. Rashid. 2014. Removal Performance of Lignin Compound from Simulated Pulping Wastewater using Emulsion Liquid Membrane Process. *International Journal of Global Warming*. 6 (2–3) : 270–283.
- Othman, N., R. Djamal, N. Mili, and S. N. Zailani. 2011. Removal of Red 3bs Dye from Wastewater Using Emulsion Liquid Membrane Process. *Journal of Applied Sciences*. 11 (7) : 1406–1410.
- Othman, N., Ling, C.H., Norul, F. M. N., Ooi, Z.Y., Norela, J., Nur, A.N., and Nora'aini, A.S. H. 2015. Removal of Phenol from Wastewater by Supported Liquid Membrane Process. *Sciences & Engineering*. 74 (7) : 117–121.
- Pattilo, C. 1995. *Membranes: Liquid Membranes in Particular, A Tutorial of Sorts*. Rensselaer Polytechnic Institute. New York.
- Purwasih, Ratih. 2013. *Studi Transpor Fenol Menggunakan Polymer Inclusion Membrane (PIM) dengan Molekul Pembawa Kopolimer (Eugenol-Dialil Ftalat)*. (Skripsi). Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Reyes, Aguilera J.A., Gonzalez, M.P., Navarro, R., Saucedo, T.I., and Avila-Rodriguez, M. 2008. Supported Liquid Membranes (SLM) for Recovery of Bismuth from Aqueous Solutions. *J. Membr. Sci.* 310 : 13–19.
- Slamet, Arbianti, R., dan Daryanto. 2005. Pengolahan Limbah Organik (Fenol) dan Logam Berat ( $\text{Cr}^{6+}$  atau  $\text{Pt}^{4+}$ ) secara Simultan dengan Fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , Zn-O dan CdS- $\text{TiO}_2$ . *Makara Teknologi*. 9 (2) : 66-71.
- Smallman, R. E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern Edisi Keempat*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- SNI 06-6989.21-2004. *Metode Penentuan Fenol*. Badan Standardisasi Nasional.
- Sousa, A.R., and Trancoso, M.A. 2009. Validation of An Environmental Friendly Segmented Flow Method for The Determination of Phenol Index in Waters as Alternative to The Conventional One. *Talanta*. 79 : 796-803.
- Stanisavljevic, M., and Nidic, L. 2004. Removal Of Phenol from Industrial Wastewaters by Horseradish (*Cochlearia armoracia* L) Peroxidase. *Working and Living Environmental Protection*. 2 (4) : 345 – 349.
- Suhandi, D., Purwoko, T., dan Pangastuti, A. 2006. Biodegradasi Fenol oleh Isolat *Bacillus* spp asal Sumur Kawangan Cepu. *Bioteknologi*. 3 (1) : 8-13.
- Sun, H., Hankins, N.P., Azzopardi, B.J., Hilal, N., and Almeida, C.A.P. 2008. A Pilot-plant Study of the Adsorptive Micellar Flocculation Process: Optimum Design and Operation. *Puri. Technol.* 62 (2) : 273 – 280.

- Supriyanto, R. 1996. *Ekstraksi Lantanum (III) dari Mineral Xenotim (Pasir Ikutan Timah Bangka) dengan Teknik Membran Cair Berpendukung*. (Tesis). Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Swantomo, D., Kundari, N.A., dan Pambudi, S.L. 2009. *Adsorpsi Fenol dalam Limbah dengan Zeolit Alam Terkalsinasi*. Badan Tenaga Nuklir Nasional. Yogyakarta.
- Tayeb, R., Fontas, C., Dhahbi, M., Tingry, S., and Seta, P. 2005. Cd(II) Transport Across Supported Liquid Membranes (SLM) and Polymeric Plasticized Membranes (PPM) Mediated by Lasalocid A. *Sep. Purif. Technol.* 42 (2) : 189–193.
- Ulbricht, M. 2006. Advanced Functional Polymer Membranes. *Polymer.* 46 (7): 2217-2262.
- Urriaga, A., Gutierrez, R., and Ortiz, I. 2009. Phenol Recovery from Phenolic Resin Manufacturing: Viability of The Emulsion Pertraction Technology. *Desalination.* 245 (1) : 444-450.
- Venkateswaran, P., and Palanivelu, K. 2006. Recovery of Phenol from Aqueous Solution by Supported Liquid Membrane Using Vegetable Oils as Liquid Membrane. *J. Hazard. Mater.* B131 : 146 – 152.
- Walkowiak, W., Ulewicz, M., and Kozlowski, C.A. 2002. Application of Macrocyclic Compounds for Metal Ions Removal and Separation. *ARS. Sep. Acta.* 1 : 87-98.
- Yulia. 2010. *Validasi Metode*. (Diktat Validasi Metode). Pusat Penelitian Kimia-LIPI. Bandung.